

Távközlési Kutató Intézet

Testfelület kardioelektromos tartományainak kifejező szemléltetése

Shakin, V. V. és Breuer P.

Bevezetés

A szív elektromos aktivitása következtében adódó testfelületi potenciáltérképek (body surface potential /BSP/ maps) vizsgálatával az utóbbi években többen is foglalkoztak orvosok és fizikusok (1,2). A sokelektródás mérések alapján a szív működése sokkal behatóbban megismerhető, mint a hagyományosnak mondható 3-12 elvezetési adatok alapján. Utóbbiakat elsősorban csak diagnosztizálásnál használják.

A testfelületen sok elektróda segítségével mért kardioelektromos tartományok alkalmas megjelenítése sokat segít a szív időbeli és térbeli viselkedésének tanulmányozásánál. Elegendő nagyszámu elvezetés esetén megfelelő interpolálással az egész felsőtest felületére folytonos potenciáltérképeket kaphatunk. Ilyen térképek diszkrét időpontokban egymást követik az eredetileg folytonos elvezetési görbék szimultán mintavételezése alapján.

A feladat

Egészséges férfipáciensekről 138 unipoláris elvezetéssel rögzített EKG felvételeket dolgoztunk fel. A felvételek közül 90 mellkasi elvezetési pontról készült, a többi a háton elhelyezett elektróda alapján (1. ábra). Az ábra merőlegesen elforgatott állapotban mutatja a kiterített mellkas-hát tartományt. A felső része az 1-90 mellkasi elvezetés, a mellkas baloldalán - a szív tájékán - sűrűbben helyezték el az elektródákat. A szív kb. a 47.-54. sz. elektródáknál helyezkedik el. (Könnyebb tájékozódás céljából közöljük: az 1.-7. elektróda a jobb hónalj vonala, a 84.-90. a bal hónalj vonala. Az ábrabeli balszélső függőleges oszlop felel meg a test derékmagasságának, míg a szabálytalan jobbszél a váll- és nyakkörnyéki nehézkes elektródaelhelyezést tükrözi.)

POSITION OF ELECTRODES (FORM OF MAPS)

NUMBER OF ELECTRODES: 130

7	6	5	4	3	2	1		
16	15	14	13	12	11	10	9	8
24	23	22	21	20	19	18	17	
33	32	31	30	29	28	27	26	25
42	41	40	39	38	37	36	35	34
50	49	48	47	46	45	44	43	
58	57	56	55	54	53	52	51	
67	66	65	64	63	62	61	60	59
75	74	73	72	71	70	69	68	
83	82	81	80	79	78	77	76	
90	89	88	87	86	85	84		
97	96	95	94	93	92	91		
105	104	103	102	101	100	99	98	
114	113	112	111	110	109	108	107	106
123	122	121	120	119	118	117	116	115
131	130	129	128	127	126	125	124	
138	137	136	135	134	133	132		
7	6	5	4	3	2	1		

1. ábra

A felvételeket az Orvostovábbképző Intézetben készítették, és analóg FM "Rocal Store-4" magnetofon segítségével szalagon rögzítették, méghozzá úgy, hogy egyszerre két elvezetést vettek fel. Minden külön felvett elvezetés mellé szimultán rögzítették a standard II. referenciaelvezetést. A későbbi feldolgozás során ennek segítségével szinkronizáltuk a 69 szekvenciálisan érkező elvezetéspárt. Ezáltal a szimultán felvétel esetén nyerhető állapotot kaptuk vissza. A felvételeket az OTKI-ban 400 Hz-es mintavételezési frekvenciával 256 kvantálási szintre digitalizálták multiplexer és egycsatornás A/D konverter segítségével. Így valamennyi, 138 potenciálértéket tartalmazó időállapot 2,5 ms-onként követi egymást. A továbbiakban a QRS komplexumot tartalmazó 40 mintavételi pontot dolgoztuk fel.

Első lépésként a mért potenciálértékeket jelenítettük meg sornyomatón az 1. ábrán látható elektródaelhelyezési képnek megfelelően (2. ábra). (Az ábrán az egyes értékek a megfelelő elvezetés alapvonalához viszonyítva értendők, 1 mV 35 kvantálási értéknek felel meg.) Ehhez jellegében hasonló térképekkel találkozhatunk Taccardi munkáiban is (1), ahol kutya mellkasáról készült 240 elvezetési felvételeket dolgoz fel. Bár fiziológiai kiértékelés már ilyen ábrák alapján is lehetséges, - hisz a felvételi pontok aránylag sűrűn követik egymást, mind vertikális, mind horizontális irányban - célunk az elektródapontok közötti potenciálértékek grafikus megjelenítése is. Ezzel elkerüljük az izopotenciális vonalak manuális rajzolásának munkáját.

### Megoldás

Jóllehet egyes fiziológiai vizsgálatok csak az izopotenciális görbék elhelyezkedését igénylik, a mi megoldásunk "kitöltött" ábrát eredményez, vagyis az egyes ekvipotenciális szinteket egy rájuk jellemző szimbólummal teljes területükön ábrázoljuk. Az elektródapontok között bilineáris interpolációt alkalmaztunk.

Legyen (a,b,c,d) négy, egymással páronként szomszédos elektródapont a derékszögi koordináta-rendszer X-Y síkjában, - ahol ezek koordinátái:  $(0,0)$ ,  $(x_0,0)$ ,  $(0,y_0)$ ,  $(x_0,y_0)$  - és a harmadik tengelyre a potenciálértékek nagyságát mérjük fel. Az egyes potenciálértékek rendre:  $\varphi_a \varphi_b \varphi_c \varphi_d$ .

A bilineáris interpoláció alapján egy tetszőleges (x,y) koordinátájú belső P pontra:

$$Z(x,y) = A(x) y + B(x) , \quad \text{ill.}$$

$$Z(x,y) = C(y) x + D(y)$$

5	2	-5	-7	-11	-11	-18		
-4	-15	-20	-29	-28	-25	-26	-21	-20
-11	-22	-37	-35	-34	-31	-31	-28	
-42	-62	-75	-72	-54	-46	-36	-31	-25
-18	-92	-123	-121	-93	-50	-41	-32	-24
0	-50	-96	-104	-72	-40	-40	-30	
27	0	-68	-79	-76	-54	-48	-37	
67	47	-33	-65	-65	-59	-37	-34	-27
74	48	-12	-32	-50	-38	-30	-23	
70	50	16	5	-27	-29	-20	-18	
56	47	29	16	7	-3	-13		
37	39	31	23	12	0	-7		
28	36	29	27	12	2	-7	-11	
24	24	17	13	10	2	-4	-12	-12
15	16	10	5	1	0	-6	-16	-15
12	6	6	3	-2	-8	-10	-18	
7	6	3	0	-4	-9	-16		
5	2	-5	-7	-11	-11	-18		

ahol A,B lineáris függvényei x-nek, C,D pedig y-nak. (Részletebben lásd a 3.a ábrán.)

$$\begin{aligned} \varphi_p = Z(x,y) &= \frac{1}{x_0 y_0} \left[ \varphi_a (x_0 - x)(y_0 - y) + \varphi_b (x_0 - x)y + \right. \\ &+ \varphi_c (y_0 - y)x + \varphi_d xy \left. \right] = \frac{1}{T} (\varphi_a - \varphi_b - \varphi_c + \varphi_d) + \\ &+ \frac{x}{x_0} (\varphi_b - \varphi_a) + \frac{y}{y_0} (\varphi_c - \varphi_a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ahol} \quad T &= x_0 y_0 & 0 \leq x \leq x_0 \\ t &= xy & \text{és} \quad 0 \leq y \leq y_0 \end{aligned}$$

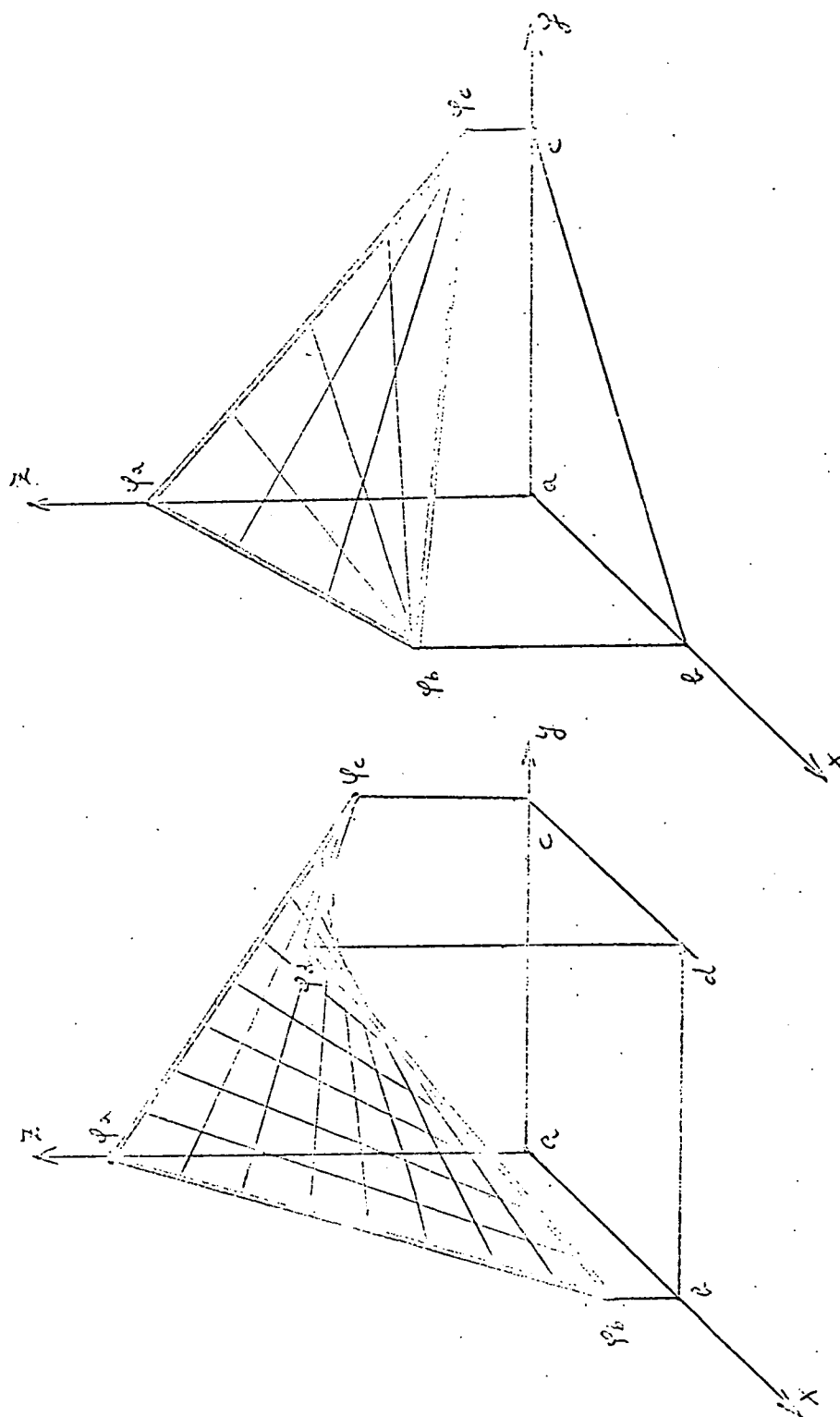
Igy egy hiperbolikus paraboloid felületdarabot (un. torzónégyszöget) kapunk, amelynek az alkotói jelen esetben merőlegesek egymásra.

A BSP térképek jobbszélén (a nyaki tájékon) négyszög helyett gyakran csak háromszög csúcspontjaiban elhelyezkedő elektródapontok potenciálértékei alapján kell a belső pontokat interpolálni.

Erre az esetre az alábbiakat kapjuk (3.b. ábra, a d pontot figyelmen kívül hagyjuk):

$$\begin{aligned} \varphi_p = Z(x,y) &= \varphi_a \left(1 - \frac{x}{x_0} - \frac{y}{y_0}\right) + \varphi_c \frac{y}{y_0} + \varphi_b \frac{x}{x_0} = \\ &= \varphi_a + \frac{x}{x_0} (\varphi_b - \varphi_a) + \frac{y}{y_0} (\varphi_c - \varphi_a) \end{aligned}$$

Természetesen a fenti, folytonos x és y esetre érvényes összefüggések fennállnak a  $Z(x_i, y_i)$  diszkrét független változókon ér-



b.

a.

3. ábra

telmezett függvényre is. Erre az értelmezésre a csak diszkrét kijelzési képességgel rendelkező berendezések - adott esetben sornyomtató - használata miatt van szükség. Végülis a kijelző berendezés felbontóképessége határozza meg a térkép finomságát.

### Eredmények

Jelen esetben egy-egy átlagos, négy felvételi pont által közrezárt négyszög  $5 \times 7$ , illetve a mellkas baloldalán  $3 \times 7$  karakter-méretű volt. Ezáltal kb. 18-szor annyi felületi ponton kapunk hasznos potenciálértéket, mint ha csak az elektróda-pozíciókat használnánk fel. A bilineáris interpoláció jogosságát - vagyis a mért értékek közötti folytonos átmenet tényét - nem szükséges külön igazolni, elég csak arra gondolnunk, hogy a sziv a torzó felületéhez képest kicsi, és helyettesíthető a belsejébe képzelt pontszerű elektromos forrással (generátor). Megjegyezzük továbbá, hogy a linearitás az elektródapontok közelsége miatt a közbülső pontokban elegendően jó közelítést eredményez. A térképek potenciálértékei természetesen kvantált mennyiségek, a kvantálási szintek elosztása viszont széles választékban megadható. Így lehetőség van a különös érdeklődésre számottartó potenciálértékek kiemelésére is. Mielőtt rátérnénk a különféle lehetséges, fiziológiai szempontból érdekes térképváltozatok leírására, néhány szó a megjelenített térkép formátumáról. A 2484 diszkrét pontból álló térkép minden pontjában egyetlen karakter fér el, így itt most már a kvantált potenciálérték helyett annak karakterkódja áll (4. és 5. ábra). A kódjelek és potenciálértékek megfeleltetése a térkép baloldalán található. Jelen esetben "zebra-típusu" térképek láthatók, minden második kvantálási tartomány kódja az üres karakter, a kódjelek szimmetrikusak a zérus potenciálértékre. A negatív értékeket a 4. ábrán pl. mínusz-jel felülnyomással különböztetjük meg a pozitívaktól.

A bal-felső kis ábra a már említett referencia-elvezetésen (amelynek kvantált nyomtatási kódjai szintén a térképkvantálás kódjainak felelnek meg) mutatja az éppen rajzolt térkép időpillanatát a QRS komplexumon belül.

REFERENCE LEAD

POTENTIAL CODES	POTENTIAL VALUES /MKV/
4229	4229
4000	4000
3771	4000
3543	3771
3314	3543
3086	3314
2857	3086
2629	2857
2400	2629
2171	2400
1943	2171
1714	1943
1486	1714
1257	1486
1029	1257
800	1029
571	800
343	571
114	343
343	114
571	343
800	571
1029	800
1257	1029
1486	1257
1714	1486
1943	1714
2171	1943
2400	2171
2629	2400
2857	2629
3086	2857
3314	3086

(NEGATIVE CODES OVERPRINTED BY SIGN; - )



[illegible]

POTENTIAL VALUES /MKV/

4	=	3657	-	
3	=	1829	-	3657
	=	914	-	1829
2	=	457	-	914
	=	229	-	457
1	=	114	-	229
	=	57	-	114
0	=	-57	-	57
	=	-114	-	-57
1	=	-229	-	-114
	=	-457	-	-229
2	=	-914	-	-457
	=	-1829	-	-914
3	=	-3657	-	-1829
4	=		-	-3657

(NEGATIVE CODES OVERPRINTED BY SIGNS . )

A térkép kvantálási szintjeinek meghatározására sokféle lehetőség van, kezdve a lineáris felhontástól (4. ábra) a tetszőleges függvénnyel (pl. az 5. ábrán exponenciális függvénnyel) megadható szintértékekig. Ennek, valamint a nyomtatási szimbólumok alkalmas választásának segítségével kívánságra kiválaszthatók a térkép lokális maximum és/vagy minimum pontjai, vagy bármelyik tetszőleges kinyomtatni kívánt potenciáltartomány, és a térképek időbeli egymásutánossága alapján ezek vándorlása könnyen követhető. A pozitív és negatív tartományoknak a szív működése során változó elhelyezkedései, méretei szintén egyszerűen figyelemmel kísérhetők.

#### Kísérleti tapasztalatok

A sokelvezetéses felvétel időigénye és nehézségei miatt viszonylag kevés számú páciensről állt rendelkezésünkre eddig felhasználható adat. Így 5 személy QRS komplexumát ábrázoljuk a fent leírt formában. Az első két személy esetében a térképtípus kiválasztására több kísérletet végeztünk. Végül, a 4. ábrán látható "zebra-típusú" térkép bizonyult a legkedvezőbbnek az ott látható kvantálási beosztással. A további személyekről az orvosok már csak ilyen térképsorozatot kaptak. A feldolgozó és térképnyomtató program-csomag R-10 kesszámítógépre FORTRAN nyelven íródott. Egy-egy 40 térképlapból álló QRS komplexum nyomtatása kb. 40 percig tart, amelynek jelentős részét az I/O műveletek és a sornyomtató működése köti le.

Fontos azonban megjegyezni, hogy ez az idő jelentősen csökken a szerzők egy másik cikkben publikált időbeni adaptív adatkompzimáló eljárásának alkalmazásával. Ekkor ugyanis lényeges információvesztés nélkül kb. 2-3-szoros mértékben csökkenthető a megfigyelendő időpontok, s így a szükséges térképek száma is. Kísérleteinket minden esetben így módon is elvégeztük. A komprimált adatokból ezután rekonstruáltuk a teljes időtartományt, és a rekonstruált térképeket összevetettük az eredetiekkel. Ezzel egyszersmind a komprimálás jóságát is egyszerűen ellenőrizhettük.

#### Továbbfejlesztési lehetőségek:

1. Több szűrkeségi fokkal készülő térképek nyomtatása. Itt az egyes ekvipotenciális tartományokat a hozzájuk rendelt vizuális sötét-

ségük különböztetné meg, szemben az eddigi egyszerű karakteres ábrázolással. Ez persze sornyomatató esetén rendkívül időigényes, mivel többszörös egymásranyomtatást kíván. A nyomtatási eljárás alapvetően a karakterek pozíciókitöltő mértékét használná fel.

2. Csak az izopotenciális vonalak "rajzolása", vagyis az ekvipotenciális tartományok kitöltött nyomtatása helyett azoknak csak a kontúrjait ábrázolnánk.

#### Irodalom

- (1) Taccardi, B.: Distribution of heart potentials on dog's thoracic surface, *Circulat. Res.*, 11., 862. (1962)
- (2) Body Surface Mapping of Cardiac Fields (szerk.: Rush és Lepeschkin), *Advances in Cardiology* 10, S. Karger kiadó, Basel, 1974.

